

文章编号：1005-8451 (2009) 03-0007-04

## 利用 Lab VIEW 实现对振动时效过程中激振点的寻找

李 玮，孟建军

(兰州交通大学 机电工程学院，兰州 730070)

**摘要：**简述振动时效过程中激振点的选择，叙述选择激振点的重要性及利用 Lab VIEW 开发项目的优势，给出具体实现方法和数据分析结果。

**关键词：**振动时效；激振点；Lab VIEW；实现

中图分类号：TH142 : TH113.1 文献标识码：A

### Implementation of excitation point seeking in VSR by Lab VIEW

LI Wei, MENG Jian-jun

(School of Mechanical and Electrical Engineering, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China)

**Abstract:** It was described the seeking of excitation point, introduced the importance of it, the advantages for the developing projects by Lab VIEW, finally described the implementation methods and the data analysis.

**Key words:** VSR; excitation point; Lab VIEW; implementation

振动时效工艺是机械行业中成熟并有广阔市场前景的技术，可完全取代热时效和自然时效。由于利用热时效和自然时效方法处理金属构件费时耗能，而振动时效方法节能高效，不受工件大小、形状及加工场地的限制，适用范围广，并且在环境保护、提高产品质量方面也表现卓越<sup>[2]</sup>。

鉴于对振动时效的技术参数、工艺要求以及监测方法存在着分歧意见和人们对标准的认识不同，使得这项高技术含量的共性技术科研成果推广不甚理想。

振动时效应用时的另一个重要问题是，目前的研究和应用绝大多数都是针对碳钢结构，对不锈钢、铝合金等应用和研究较少。而近年来，不锈钢、铝合金以及其他一些新的结构材料的使用已经越来越多，采用振动时效技术解决一些新的结构材料的残余应力问题已成为这一领域的重要研究课题。

虽然振动时效的机理还在研究中，但振动时效对于消除、均化和减小金属构件的残余应力，提高构件抗动载荷变形能力，稳定构件尺寸精度都有非常好的效果，经济效益尤其显著，因此这一工艺在造船、冶金、运输、化工和电力等行业得到了广泛的应用。

收稿日期：2008-10-07

作者简介：李 玮，在读硕士研究生；孟建军，教授。

### 1 振动时效基本原理

振动时效是对构件施加交变应力，如果这种交变应力幅与构件上的某些点所存在的残余应力相叠加而达到材料的屈服应力，则该点将产生局部的塑性变形。如果这种循环应力可以使某些点产生晶格滑移，尽管应力远未达到屈服极限，也会使这些点产生局部塑性变形。而且塑性变形往往首先发生在残余应力最大点处，因此使这些点的受约束变形得以释放。直到现在，人们始终把精力集中在“表面”残余应力水平。从某些方面看，表面残余应力的降低是有利的：(1) 因为最大作用应力通常出现在表面，与残余应力叠加的结果使“第一屈服载荷”增加；(2) 由于残余应力表面层的切削而产生的机加工变形减少；(3) 应力腐蚀减缓，因为应力腐蚀是依赖于残余应力大小的表面现象。总之，振动处理的结果是使残余应力重新分布，靠近心部的残余应力峰值已经降低，但远不如表面降低幅度大<sup>[1]</sup>。

### 2 激振点<sup>[3-7]</sup>

一个典型的振动时效装置，是由激振器、振动参数控制器和振动传感器组成，并能实现上述参数的调节和选配。

从振动时效过程的分析可知，构件的固有频率、共振的振幅和频率的变化是主要的工艺参数。而振动时效工艺的技术关键是激振力、激振频率和激振时间3大参数的选择。

在实际使用中，一般时效工作可分为扫描和时效两个过程，进行扫描是为了寻找时效构件的共振频率。激振器和构件固定在一起，选择合适的激励力，迫使构件共振，从加速度传感器中测量加速度的幅值，计算构件的共振频率<sup>[6]</sup>。不同的构件，其固有频率相差很大，时效前通过计算或模态分析估算其固有频率，可以加快扫描的效率。在扫描到共振频率后，用略低于该频率的亚共振区，在一定的激励下，振动几十分钟（一般20 min~30 min），并判断时效效果。在振动时效中，工艺参数的选择是决定时效效果的重要方面，本文中主要介绍对激振点的选择，也就是激振频率的选择。

大量生产实践证明，在各种不同频率下的加载中，只有在工件固有频率下进行共振，才能经济、简便并且迅速地降低工件的残余应力<sup>[6]</sup>。

原因如下：

(1) 共振频率下的振动能起到放大动应力的作用，加速残余应力的消除，达到短时间内完成振动时效的目的。

(2) 据有关资料表明，在共振区内，激振力有效地加大了晶格内原子的动能，使原子振动更加剧烈，这种大能量的原子与周围原子相互作用，迅速纠正了晶格的畸变与扭曲，产生微观塑性变形，从而能快速消除或均化残余应力。

因此，工件材料合适的激振频率应在共振区。

一个无应力的工件具有独特的固有共振频率，含有残余应力的工件，它的固有频率比同样的无应力工件的固有频率高。在振动处理过程中，随着残余内应力的下降，工件的内阻尼减小，工件的固有频率降低，振幅升高。

由力学知识可知，设一质量为M的工件，在激振力 $F=M_1 e \omega^2$ 的作用下作受迫振动。得其运动方程为 $M \frac{d^2x}{dt^2} + \beta \frac{dx}{dt} + cx = F \sin \omega t$  在垂直方向位移 $x=B \sin(\omega t - \theta)$ ，其中：B为振幅值。

$$B = \frac{F}{M \omega_n^2 \sqrt{(1-Z)^2 + (2\xi Z)^2}} \quad (1)$$

式中： $M=m_1+m$  为整个系统的质量； $\beta$  为阻尼系数；C为刚度； $\xi$  为阻尼比；Z为频率， $Z = \frac{\omega}{\omega_n}$ ； $\omega$  为激振频率， $\omega_n$  为工件固有角频率。 $e$  为激振器偏心块的偏距，若令 $B_0 = \frac{m_1 e}{M}$ ，则有：

$$B/B_0 = \frac{Z^2}{\sqrt{(1-Z)^2 + (2\xi Z)^2}} \quad (2)$$

当机械系统达到共振时，令  $\frac{d(B/B_0)}{dZ} = 0$ ，得：

$$Z = \frac{1}{\sqrt{1-2\xi^2}} \quad (3)$$

公式(3)表明，当阻尼比 $\xi$ 下降时，共振频率下降。(1)式和(3)式为我们判断振动时效效果的依据。用曲线表述如图1。

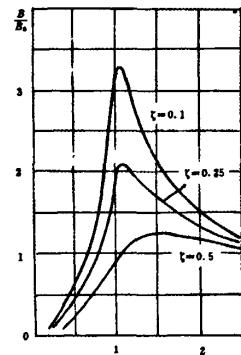


图1 振动时在不同阻尼下的幅频曲线图

由图1可知：

(1) 当阻尼比 $\xi$ 减小时， $B/B_0$ 逐渐增大，幅频曲线峰值升高；

(2) 当 $\xi$ 减小时，幅频曲线峰值在升高的同时发生左移；

(3) 当 $\xi$ 减小时，幅频曲线峰值在升高的同时，幅频曲线的频带变窄。

这说明，在振动时效过程中，随着工件内部残余应力的均化和下降，工件的内阻尼减小，幅频曲线的共振频率左移，峰值上升，频带变窄。

实验证明，一个无应力的工件，经振动处理后其固有频率保持不变，而有残余应力的工件，其固有频率是随时间变化的。对工件进行振动处理时，每隔一定时间，测一次固有频率，发现工件的固有频率逐渐降低，前10 min较快，然后逐渐变缓，最

后成一水平线，说明此时工件的内应力已均化，趋于稳定状态如图2。经振动处理后的工件固有频率下降，振后的幅频曲线比振前的幅频曲线峰值升高，频带变窄，根据前述推导结果，说明工件内部残余应力降低，阻尼下降如图3。振动时效的振幅频率曲线(A-f)与“加速度—频率(a-f)”曲线以及振幅时间(A-t)曲线与“加速度—时间(a-t)”曲线是一致的，二者仅差一个比例因子。

对幅频曲线的分析完全可以应用到加速度—频率曲线中去<sup>[7]</sup>。

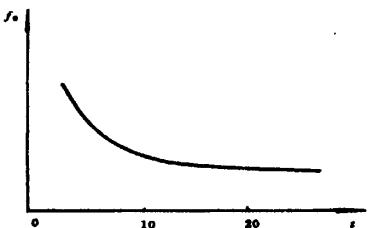


图2 共振频率—时间变化图

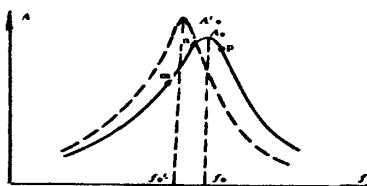


图3 激振时幅频变化图

由上所述分析可知：

(1) 振动处理过程中，大振幅有利于残余应力的降低。随内应力下降，阻尼减少，工件振幅上升，固有频率下降，频带变窄；

(2) 振动处理就是要用最小的能量消耗达到消除最大应力的目的。

### 3 LabVIEW概述

LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench, 实验室虚拟仪器工程平台)是美国NI公司 (National Instrument Company) 推出的一种基于G语言 (Graphics Language) 的虚拟仪器软件开发工具。在一个虚拟仪器VI的开发过程中，设计人员可以利用Lab

VIEW提供的3个模板，即工具模板(Tools Palette)、控制模板 (Controls Palette) 和功能模板 (Function Palette)，完成前面板、数据流程框图和图标连接端口的设计。前面板相当于真实物理仪器的操作面板，可包含旋钮、刻度盘、开关、图表以及其他界面工具，允许用户通过键盘或鼠标获取数据显示结果；数据流程框图相当于仪器的电路结构，是VI的程序代码；图标连接端口则负责前面板窗口和数据流程图窗口之间的数据传输与交换。

本文中选择LabVIEW做为开发工具的主要原因：(1) LabVIEW是具有图形化的编程方式，设计者无需写任何文本格式的代码，是真正的工程师的语言；这种语言的应用极大地简化了工程师的工作量，提高了工作效率；(2) 提供丰富的数据采集、分析及存储的库函数；(3) 提供传统的程序调试手段，如设置断点和单步运行，同时提供独具特色的执行工具，使程序动画式运行，利于设计者观察到程序运行的细节，使程序的调试和开发更为便捷。

## 4 结果分析

### 4.1 算法概述

由前文激振点的介绍可知，可以选择工件的共振频率作为激振频率，即扫频曲线的波峰值所对应的频率。在激振力和频率不变的情况下，具有残余应力的工件，在振动处理过程中，其振动幅值不断变化，加速度值也在不断的变化。仅仅选择一个激振频率是不能满足要求的。具体方法如下：

假设扫频曲线a-f曲线如图4，得到3个峰值频率及其对应的加速度， $f_0$ 对应的加速度值为 $a_0$ ； $f_1$ 对应的加速度值为 $a_1$ ； $f_2$ 对应的加速度值为 $a_2$ ；首先选 $f_1$ 作为激振频率，求出此a-f曲线所有频率的平均值对应的加速度值，记为 $a$ ，过 $a$ 做直线与a-f曲线相交。

将 $f_1$ 及其两侧的曲线对应的加速度都用 $a$ 代替，重新绘制的曲线如图5。采用同样的方法进行处理后将a-f曲线的所有峰值选取出来。随着工件固有频率的变化，选取的激振频率也不断变化。工件固有频率下降，激振频率逐渐靠近固有频率，表面上看功率下降，而实际上有用功增大，振动处

理效果较佳。

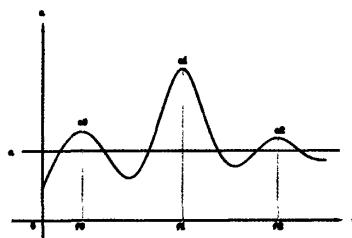


图4 a-f曲线图

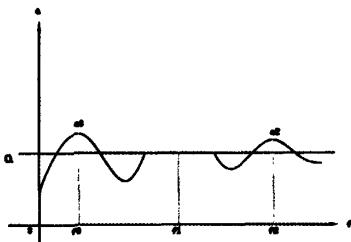


图5 处理后的a-f曲线图

用这种方法处理的异常情况如图6, 图中的加速度平均值下有两个亚峰值, 无法寻找其余的峰值。显然这种情况是无法满足要求的。但是大量的生产实践表明, 这种异常情况是可以避免的, 用这种方法来寻找激振点是完全可行的。

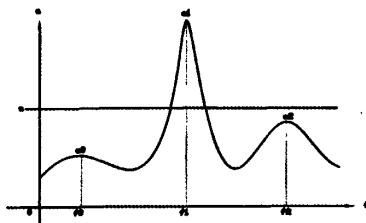


图6 异常情况的a-f曲线

#### 4.2 仿真图形及分析

数据分析中需要找到3对共振频率、加速度和带宽的值, 图7所示这段程序只是寻找“一对”数据的程序, 另外“两对”的框图程序类似, 不再重述。

本文主要介绍振动时效中激振点的寻找, 对这个参数的寻找不是一个单一的过程, 它与很多参数密切联系, 主要有: 加速度, 频率, 带宽, 1/2带宽。这些参数的寻找是激振点寻找的基础。寻找出加速度值才能寻找其对应的频率值, 再根据曲线的带宽确定共振频率的范围, 而此处的1/2带宽

数据分析结果显示				
频率 (Hz)	加速度 (m/s <sup>2</sup> )	1/2带宽 (Hz)	1/2带宽范围 (Hz)	
f0: 135.7	146.605	3.6	134.1 — 137.7	
f1: 163.1	131.857	3.8	161.3 — 165.1	
f2: 114.6	112.083	3.7	113 — 116.7	

图7 数据分析结果显示界面

也就是前面提到的加速度平均值。所有这些参数对激振频率的选择都必不可少。

#### 5 结束语

振动过程中, 动态参数的变化与残余应力下降规律相对应, 振动消除残余应力就是利用了共振原理, 因此激振点应该选择在共振区。试验证明, 利用LabVIEW实现振动时效过程中激振点的寻找完全可行, 有一定的推广价值。振动过程中的各参数变化规律, 使我们能正确选择激振频率, 对振动处理效果做出准确判断, 有利于振动时效技术的推广应用。

#### 参考文献:

- [1] 马 宏. 大型磨机筒体振动时效研究[J]. 大型锻铸件, 2004, 104 (2): 40-43.
- [2] Dawson R, Moffat D G. Vibratory stress relief A fundamental study of its effectiveness[J]. Journal of Engineering Material and Technology, 1980, 102: 169-176.
- [3] 王珊燕, 潘文峰, 赵宪军. 振动时效技术及发展[J]. 现代机械, 2005 (5).
- [4] Alan Wedgwood. Measuring residual stress: the key to longevity [J]. Materials World, 1995, 3 (1): 5-7.
- [5] 刘桂君, 杨淳, 于文江. 采用振动时效方法解决金属构件的残余应力问题[J]. 电子技术, 1997 (9): 37-39.
- [6] 刘杨. 振动消除残余应力的原理[J]. 株洲工学院学报, 1993, 10 (1).
- [7] 高嵩, 张锁怀. 对振动时效三个主要参数的探讨[J]. 工艺与工艺装备, 2004 (5): 58-60.
- [8] 金志强, 包启亮. 一种基于LabVIEW的PID控制器设计的方法[J]. 微计算机信息, 2005, 21 (6): 1-3.
- [9] 陈锡辉, 张银鸿. LabVIEW8.2程序设计从入门到精通[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.